

Kai Nybacka

ILMANVAIHTOKONEEN ENERGIA- TEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

ILMANVAIHTOKONEEN ENERGIA TEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Kai Nybacka
Opinnäytetyö
Kevät 2012
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Kai Nybacka

Opinnäytetyön nimi: Ilmanvaihtokoneen energiatehokkuuden parantaminen

Työn ohjaaja: Tero Hietanen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: 06 2015 Sivumäärä: 41

Tämän opinnäytetyön aiheena oli parantaa ilmanvaihtokoneen energiatehokkuutta ja samalla automatisoida koneen toimintaa liittämällä kone kiinteistön automaatiojärjestelmään.

Koneen toiminta selvitettiin perehtymällä koneen dokumentaatioon ja tekemällä koneelle suorituskykymittauksia. Mittauksia varten koneeseen asennettiin anturit eri ilmavirtojen lämpötiloille, talteenottokennon yli olevalle paine-erolle sekä tulo- ja poistoilmamäärän ilmavirtojen määrille. Mittausten jälkeen koneen toiminta muutettiin siirtämällä koneen ohjaus kiinteistön automaatiojärjestelmän hoidettavaksi ja koneen toimintoja monipuolistettiin.

Kaikkia koneeseen tehtyjä muutoksia ei ehditty testaamaan. Koneen energiankulutusta ei saatu juurikaan parannettua mutta koneen automatisointi onnistui ja koneen toimintaa voi seurata ja tarvittaessa säätää etänä.

Asiasanat: ilmanvaihtokone, energiatehokkuus, automaatio

ALKULAUSE

Tämän työn valvovana opettajana toimi Tero Hietanen Oulun seudun ammatti-korkeakoulun tekniikan yksiköstä ja ohjaajana Tomi Kujala Fidelix Oy:stä.

Haluan kiittää Fidelix Oy:n Oulun toimipisteen henkilökuntaa ideoiden jakamisesta ja varsinkin Tomia ongelmien ratkaisuvuodesta. Tero Hietasta haluan kiittää lopputyön tekemisen motivoinnista sekä vaimoani ja lapsiani jaksamisesta.

Oulussa 4.6.2015

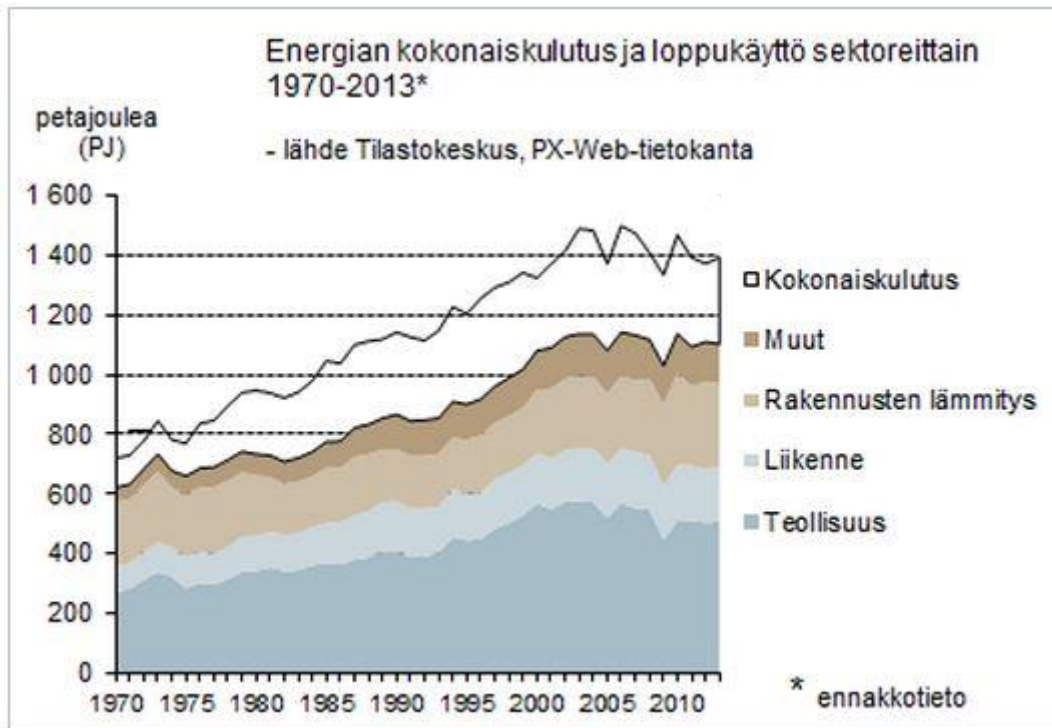
Kai Nybacka

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 PIENKIINTEISTÖJEN ENERGIANKULUTUS	8
2.1 Ilmanvaihtokoneen energiankulutus	10
3 KOHTEEN ILMANVAIHTOKONE	13
3.1 Mitoitus	14
3.2 Puhaltimet	14
3.3 Lämmön talteenotto	15
3.4 Ilman suodatus	18
3.5 Tuloilman jälkilämmitys	18
3.6 Talteenottokennon ohitus	18
3.7 Säätimen rakenne ja toiminta	19
3.8 Huurtumisen esto	20
4 KONEESEEN TEHDYT MUUTOKSET	21
4.1 Puhaltimien nopeudensäätö	21
4.2 Lämmön takaisinottokennon hyötysuhteen mittaus	21
4.3 Suodatinvahti	22
4.4 Jälkilämmitys	22
4.5 Kesäpelti	23
4.6 Huurtumisen esto	23
4.7 Tuloilman lämpötilan mittaus	24
4.8 Ilmavirtojen mittaus	25
4.9 Toimintojen lisäykset	26
5 MITTAUSTULOKSET JA TULOSTEN ARVIOINTI	28
5.1 Puhaltimien tehonkulutus	30
5.2 Lämmön talteenottokennon hyötysuhde	32
5.3 Suodattimen ja kennon yli oleva painehäviö	33
5.4 Huurtumisen esto	34
5.5 Ilmavirtojen määrät	35
6 YHTEENVETO	37

1 JOHDANTO

Rakennusten lämmitykseen käytetty yhteenlaskettu energiankulutus on ollut viime aikoina kasvussa, vaikka yksittäisen kiinteistön keskimääräinen lämmitysenergiankulutus on pienentynyt. (1). Energian kokonaiskulutus Suomessa vuosina 1970–2013 on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Energian kokonaiskulutus Suomessa 1970–2013 (1)

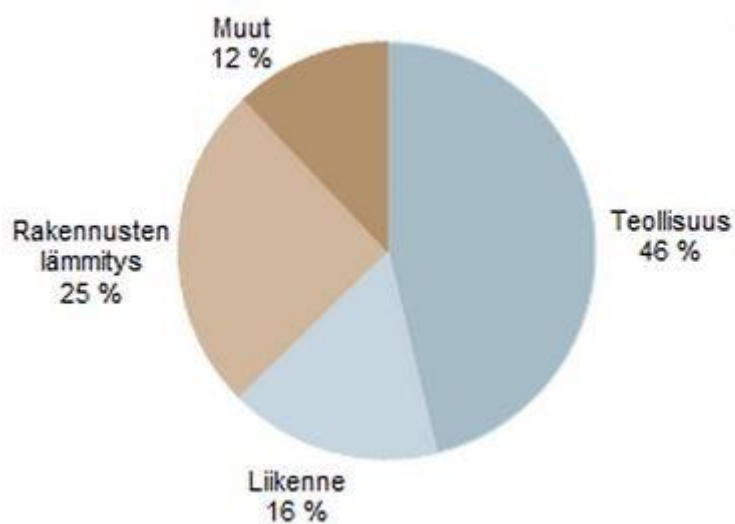
Energian hinnan kallistuminen, yleinen energia-asioihin liittyvä valvetuneisuus sekä rakennusmääräysten tiukentaminen on toiminut motiivina pienentää kiinteistöjen energiankulutusta ja sitä kautta myös kuluttajan maksettavaksi tulevaa sähkölaskua.

Rakentamismääräyksiä on muutettu rakennusten eristepaksuuksien, ikkunoiden ja ovien suhteen, on siirrytty energiaa säästäviin lamppuihin ja kotien viihdelaitteistojen sekä kylmäkoneiden energiatehokkuus on jatkuvasti parantunut. Myös kiinteistöjen ilmanvaihdon on asetettu uusia tiukempia vaatimuksia.

Uudet kiristyneet määräykset eivät kuitenkaan muuta vanhempien, jo olemassa olevien pienkiinteistöjen energiankulutusta, jolloin vanhemman pienkiinteistön energiankulutuksen pienentäminen jää kiinteistön omistaja tai käyttäjän harkintaan: vaihdetaan ikkunoita ja ovia, lisätään lämpöeristeitä, käytetään energiansäästölamppuja tai muutetaan lämmitysmuotoa energiatehokkaammalla vaihtoehdolla. Ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantaminen vaikuttaa olevan harvinaisempi tapa ja silloinkin korkeintaan vanha ilmanvaihtokone päivitetään kerralla uuteen. Vanhemman ilmanvaihtokoneen säädöllä ja oikeanlaisen toiminnan varmentamisella voitaisiin kuitenkin varmistaa, että koneen suunniteltu energiatehokkuus saavutetaan, energiaa ei tuhleta eikä aiheuteta kiinteistölle haittaa huonolla ilmanvaihdolla.

2 PIENKIINTEISTÖJEN ENERGIANKULUTUS

Suomessa vuosittain kulutetun energian loppukäytöstä suurimman osan, noin 25 %, vie rakennusten lämmitys (1).



KUVA 2. Energian loppukäytön jakaantuminen sektoreittain 2013 (1)

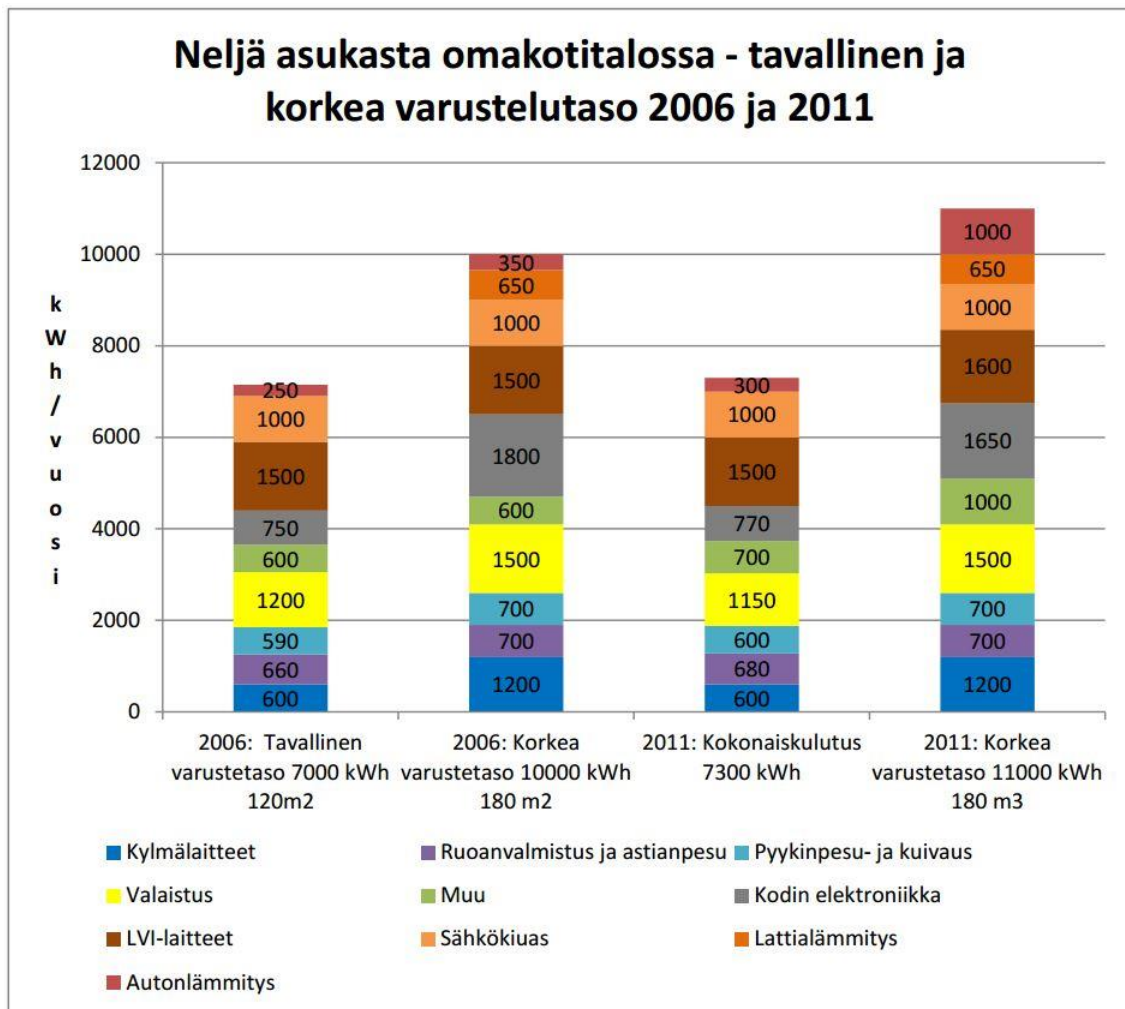
Pientaloissa tilojen lämmitykseen käytetään 40–60 % koko niiden kuluttamasta energiamäärästä (2). Lämmitysenergian kulutusta tarkastellessa havaitaan ilmanvaihdon olevan suurin yksittäinen energian kuluttaja ja siten potentiaalinen parannuskohde kiinteistön koko energiankulutusta pienennettäessä. Keskimääräisen omakotitalon lämmitysenergian kulutuksen jakautuminen on esitetty kuvassa 3.

	Tavanomainen talo 126 kWh/m ² v	Energiaa säästävä talo 60 kWh/m ² v
Ilmanvaihto	3700 kWh/v	2400kWh/v
Seinät	3600kWh/v	1450kWh/v
Ikkunat	3400kWh/v	1450kWh/v
Lattia	3400kWh/v	1450kWh/v
Katto	2400kWh/v	1050kWh/v
Yhteensä	16500kWh/v	7800kWh/v

KUVA 3. Pientalon lämmitysenergiankulutuksen jakautuminen kWh / vuosi (2)

Lämmitysenergian lisäksi energiaa kuluu muihin erilaisiin pienkiinteistön toimintoihin ja laitteisiin, käytetty energia on suurelta osin sähköenergiaa. Osa näihin käytetystä sähköenergiasta päätyy kiinteistön lämmitysenergiaksi laitteiden hukatehon takia ja tiukka jako lämmitysenergian ja muun energiankulutuksen välillä onkin hankalaa.

Muuta kulutusta tarkastellessa havaitaan LVI-laitteiden, autonlämmitykseen ja muuhun sähkönkulutukseen käytetyn sähköenergian määrän kasvaneen vuosina 2006 ja 2011 tehtyjen tutkimusten perusteella (3, s.43). Tässäkin tutkimuksessa ilmanvaihtoon liityvä sähkönkulutus on yksi suurimmista yksittäisestä kuluttajasta, ainoastaan kodin elektroniikan kulutuksen ollessa suurempi. Kuvassa 4 on esitetty eri varustetasoisten kaukolämpöalojen sähköenergian kulutuksen jakautuminen eri kulutuskohteisiin vuonna 2006 ja 2011.



KUVA 4. Omakotitalon sähkökulutuksen jakautuminen (3, s.44)

2.1 Ilmanvaihtokoneen energiankulutus

Ilmanvaihtokoneen energiankulutus koostuu ilmanvaihtokoneen puhaltimien sähkökulutuksesta, koneen ohjauselektroniikan sähkökulutuksesta ja ilmanvaihtokoneeseen tai kanaviin asennettujen toimilaitteiden sähkökulutuksesta. Näiden lisäksi energiaa käytetään tuloilman esilämmitykseen siinä tilanteessa, jossa ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton teho ei riitä pitämään tuloilmaan riittävän lämpimänä. Uusimman rakentamismääräyskokoelman mukaan poistoilmasta on otettava talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä (4, s.15).

Tuloilman esilämmitys voidaan toteuttaa sähkövastuksella, nestekiertoisella lämmityspatterilla tai lämpöpumpulla. Eri tapoja käytettäessä sähköenergian ja muun energian käytön suhde vaihtelee huomattavasti.

Tuloilman esilämmityksen lisäksi myös laitteeseen tulevaa ulkoilmaa voidaan esilämmittää. Ulkoilman esilämmityksestä saadaan hyötyä ilmanvaihtokoneen sulatusjaksojen vähentyessä, mikä puolestaan kasvattaa koneen hyötysuhdetta. Esilämmitys voidaan toteuttaa tuloilman esilämmitystä vastaavin menetelmin tai hyödyntämällä auringonilmaisenergiaa tai kiinteistössä tapahtuvaa hukkaenergiaa. Auringon luovuttamaa ilmaisenergiaa voidaan käyttää suoraan tai välillisesti, esimerkiksi sijoittamalla mustaksi maalattu ulkoilma kanava siten, että auringon säteilyenergia pääsee lämmittämään kanavaa tai kaivamalla ilmanvaihtokoneelle tuleva ulkoilmakanava kulkemaan osittain maan alla. Kanavassa kulkeva ulkoilma lämpenee maahan varautuneen lämpöenergian siirtyessä ilmaan. Hukkaenergian käytöstä esimerkkinä voidaan pitää kaukolämpöä käyttävän kiinteistön lämmönjakotilan hukkalämmön käyttämistä ulkoilman esilämmitykseen.

Puhaltimien sähkönkulutus riippuu puhaltimen moottorityypistä sekä siirrettävistä ilmamäärästä eli puhaltimen kuormituksesta. Ilmanvaihtokoneen puhaltimien käyttämälle sähköteholle on annettu määrittely ja sille on asetettu vaatimus rakentamismääräyskokoelmissa. Ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho SFP, Specific Fan Power, on puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho kW jaettuna koneen tulo- tai poistoilmavirralla m³/s, suuremmalla näistä. Sähkön ottoteho lasketaan mitoitusilmavirralla. Vuonna 2003 SFP on ollut 2.5 kW/m³/s. Tällä hetkellä, vuonna 2015, voimassaoleva raja-arvo on 2.0 kW/m³/s. (4, s.15; 5, s.17.)

Koneen ohjauselektroniikan ja toimilaitteiden sähkönkulutus on yleensä pieni verrattuna puhaltimien sähkönkulutukseen, eikä sille ole asetettu erityistä rajaa. Sähkönkulutus kuitenkin kasvaa käytettäessä pyörivällä talteenottokennolla varustettua ilmanvaihtokoneetta ja mikäli toimilaitteiden määrä on huomattavan suuri, esimerkiksi järjestelmässä jossa kiinteistön huonekohtaisia ilmavirtoja säädetään automaattisesti käyttöolosuhteiden mukaan.

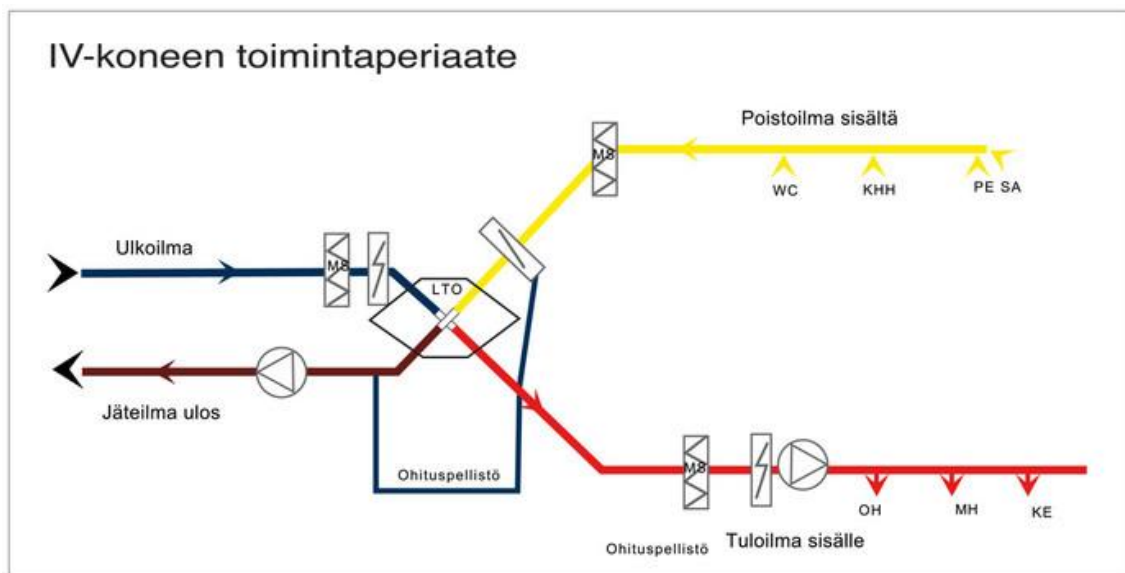
Oletettavasti LVI-laitteiden sähkönkulutuksen osuus tulee tulevaisuudessa kuitenkin pienenemään kuvan 4 tietoihin verrattaessa. Toisaalta toiminnoiltaan täysin varusteltujen kiinteistöjen lukumäärä tulee kasvamaan ja niiden ilmanvaihdon sähkönkulutus tulee olemaan keskimääräistä suurempi.

3 KOHTEEN ILMANVAIHTOKONE

Tämän työn tarkoituksena oli tutustua pienkiinteistössä käytettyyn lämmön takaisinottokeinoilla varustettuun ilmanvaihtokoneeseen, tarkistaa sen toiminta ja muuttaa toimintaa paremman energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Työn tekemistä varten kone varustettiin tarvittavilla mittauslaitteilla ja koneen oma säädinelektroniikka korvattiin ohjelmoitavalla säätimellä.

Työn tekeminen aloitettiin tutustumalla kohdekiinteistössä olevaan ilmanvaihtokoneeseen. Kyseinen kone oli Meptek OY:n (nykyisin Swegon Oy) valmistama ILTO 440. Kiinteistön kone oli perusvarusteltu ilman hiilidioksiditehostusta tai optista huurtumisvahtia. Kone oli varustettu sähköisellä jälkilämmitysvastuksella ja koneen valmistusvuosi oli 2007.

Ilmanvaihtokoneen tehtävänä on poistaa käytetty sisäilma ja tuoda tilalle suodattettu raikas ulkoilma. Lämpimästä poistoilmasta otetaan talteen energiaa, jolla lämmitetään sisään johdettavaa kylmää ulkoilmaa. Koneen toimintaperiaate ja ilmavirtojen nimet sekä virtaussuunnat on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Ilmanvaihtokoneen toimintaperiaate ilmavirtoineen (6)

3.1 Mitoitus

ILTO 440 ilmanvaihtokone on tarkoitettu enintään 220 m² omakotitalojen ilmanvaihtoon. Koneen suunnitteluohjeessa esitetään mitoitusperiaate D2:n mukaisille ilmavirroille ja esitetään koneen ilmavirtataulukot tulo- ja poistoilmavirroille. Ohjeen mukaan mitoitettaessa kone toteuttaa vaatimuksen ominaissähkötehosta alle 2.5 kW/m³/s. Koneen asennus ja toiminta esitetään sisältäen piirikaavion koneen ohjainkortista. (7.)

Kone on asennettu huoneistoalaltaan 199 m² suuruiseen 2-kerroksiseen omakotitaloon, jossa asuu 5-henkinen perhe. Ilmanvaihtokoneen toiminta-alueella on 6 makuuhuonetta, 2 aulatilaa, 2 vaatehuonetta, 2 WC:tä, keittiö, kodinhoitohuone, kylpyhuone ja sauna. Kiinteistön huonekorkeus on alakerrassa 2,6 m ja yläkerrassa 2,4 m, joista saatiin laskettua kiinteistön tilavuudeksi noin 500 m³. Kiinteistön ilmavirrat mitattiin eri puhallintehoilla ja tasapainotettiin luotettavan lähtötilanteen saavuttamiseksi. Koneessa ei ollut sisäänrakennettua ilmavirtauksen mittauslaitteistoa, vaan kokonaisilmamäärät mitattiin tulo- ja poistoilmakanavista Velocicalc 9555-P ilmanvaihtomittarilla käyttäen Pitot-putkea. Huoneitten ilmavirrat saatiin selville venttiilien yli olevan paine-eron ja venttiilien valmistajien taulukkotietojen perusteella. Paine-ero mitattiin samalla Velocicalc 9555-P mittalaitteella.

Suomen rakennusmääräyskokoelma D2:n mukaan mitoitettaessa kiinteistön ilmanvaihtotarpeeksi tuli noin 250 m³ tunnissa tai noin 70 l sekunnissa, joka saavutetaan ilmanvaihtokoneen puhallinnopeudella numero 3. Eri huoneiden ja tilojen ilmavirrat säädettiin vastaavasti D2:n ohjeen mukaan. (8, s.25.)

3.2 Puhaltimet

Ilmanvaihtokone on varustettu AC moottoreilla toimivilla tulo- ja poistoilmapuhaltimilla, joiden nopeuden säätö on hoidettu moottorin käyttöjännitettä muuttamalla. Käyttöjännite muokataan 230 VAC verkkosähköstä käyttämällä säästömuuntajaa, jossa on 8 eri lähtöjännitettä: 60 VAC, 80 VAC, 100 VAC, 120 VAC, 140 VAC, 160 VAC, 180 VAC sekä suora 230 VAC täyttä puhallinnopeutta varten. Kaikkia saatavilla olevia käyttöjännitteitä ei ole kytketty, vaan molemmille moot-

toreille johdetaan käyttäjän valitsemana 5 eri jännitettä vastaten nopeuksia 1-5 seuraavan taulukon 1 mukaisesti.

TAULUKKO 1. Eri puhallinnopeuksia vastaava moottorin käyttöjännite ja puhaltimien tehonkulutus (7, s.8)

Valittu puhallinnopeus	Moottoreiden käyttöjännite [VAC]	Ilmoitettu yhteis-tehonkulutus puhaltimille [W]
1	60	47
2	100	102
3	140	163
4	180	231
5	230	321

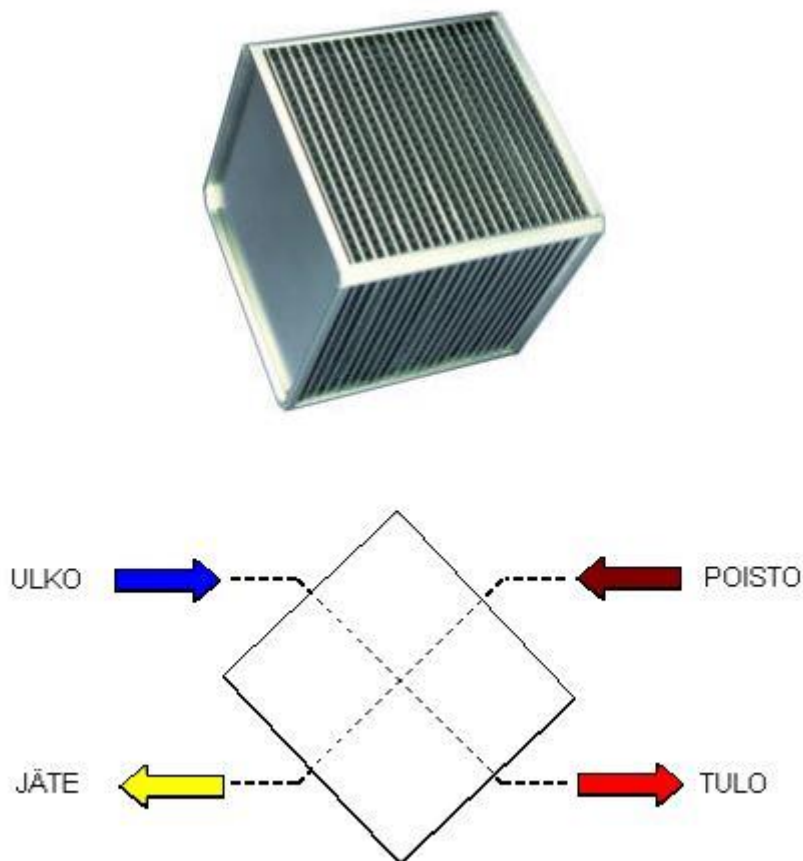
Molemmat puhallinmoottorit käyttävät samaa käyttöjännitettä, toisin sanoen molempien puhaltimien ilmavirrat ovat yhtä suuret, mikäli myös kanavavastukset ovat keskenään yhtä suuret. Tästä seuraa se, että koko koneen ilmavirrat tasapainotetaan kanavistojen venttiilejä säätämällä eli kuristamalla vaikka parempi tapa olisi tasapainottaa ilmavirrat puhallintehoja muuttamalla. Kuristettua ilmavirtamäärää joudutaan kompensoimaan kasvattamalla puhaltimen pyrintänopeutta, joka taas aiheuttaa koneen ottosähkötehon kasvun ja energiatehokkuuden huononemisen.

3.3 Lämmön talteenotto

Kone on varustettu lämmön talteenottokennolla, joka on periaatteeltaan ristivirtakenno. Kenno on alumiinista valmistettu levylämmönsiirrin, jossa ristikkäiset tulo- ja poistoilmavirrat eivät pääse sekoittumaan toisiinsa, vaan lämpimän poistoilman sisältämää lämpöenergiaa siirretään kylmempään tuloilmaan konvektoitumalla. Energian siirto tapahtuu sitä tehokkaammin mitä suurempi on kennos-

ton levyjen pinta-ala ja mitä pidempi on ilmavirran kulkema matka kennon sisällä. Kennon kuva ja ilmavirtojen kulku on esitetty kuvassa 6.

Ristivirta levylämmönsiirrin



KUVA 6. Ristivirta levylämmönsiirrin ja ilmavirtojen kulku kennossa (9, s.15)

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 esitetään, että ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä (8, s.15). Vuonna 2007, kiinteistön ilmanvaihtokoneen valmistamisvuonna, talteen otettava lämpömäärä on ollut vähintään 30 % (5, s.17).

Lämmön takaisinoton hyvyttä voidaan arvioida tulo- ja poistoilman lämpötila- hyötysuhteilla sekä lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteella. Tuloilman lämpötila- hyötysuhde on tuloilman lämpenemisen suhde poistoilman ja ulkoilman väli-

seen lämpötilaerotukseen. Tuloilman lämpötilahyötysuhteeseen vaikuttaa lämmöntalteenottolaitteen rakenteen lisäksi tulo- ja poistoilmavirtojen suhde. (10, s.9.)

Poistoilman lämpötilahyötysuhde on poistoilman jäähtymisen suhde poistoilman ja ulkoilman väliseen lämpötilaerotukseen. Poistoilman lämmöntalteenottolaitteistojen erityyppisten lämmönsiirtimien tuloilman lämpötilahyötysuhteet ovat tyypillisesti:

- virtaavan väliaineen välityksellä lämpöä siirtävät lämmönsiirrin yhdistelmät; 40–60 %
- ristivirtalevy lämmönsiirtimet; 50–70 %
- vastavirtalevy lämmönsiirtimet; 60–80 %
- regeneratiiviset lämmönsiirtimet; 60–80 %

Tuloilma- ja poistoilmahyötysuhde lasketaan kaavoilla 1 ja 2 (10, s. 14).

$$\eta_{tulo} = \frac{T_{lto} - T_{ulko}}{T_{poisto} - T_{ulko}} \quad \text{KAAVA 1}$$

η_{tulo} = Tuloilman lämpötilahyötysuhde

T_{lto} = Tuloilman lämpötila lämmön takaisinottokennon jälkeen

T_{ulko} = Ulkoilman lämpötila

T_{poisto} = Poistoilman lämpötila

$$\eta_{poisto} = \frac{T_{poisto} - T_{jäte}}{T_{poisto} - T_{ulko}} \quad \text{KAAVA 2}$$

η_{poisto} = Poistoilman lämpötilahyötysuhde

$T_{jäte}$ = Jäteilman lämpötila

Tuloilman lämpötilahyötysuhde yhtä suurilla ilmavirroilla voidaan laskea epäsuhteisilla ilmavirroilla lasketusta lämpötilahyötysuhteesta kaavalla 3 (10, s. 15).

$$\eta_{tulo \text{ tasapainossa}} = \frac{(1 + R_{LTO})}{2} \eta_t \quad \text{KAAVA 3}$$

$$\text{Missä } R_{LTO} = \frac{q_T}{q_P}$$

R_{LTO} = Ilmavirtojen suhdeluku

q_T = Tuloilmavirta

$qP = \text{Poistoilmavirta}$

Yksittäisen ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voidaan laskea yhtä suurilla ilmavirroilla määritetystä tuloilman lämpötilahyötysuhteesta kaavan 4 mukaisesti (10, s. 16).

$\eta_a = 0,6 \eta_{tulo\ tasapainossa}$

KAAVA 4

$\eta_a = \text{Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde}$

$\eta_{tulo\ tasapainossa} = \text{Tuloilman lämpötilahyötysuhde tasapainotilassa}$

3.4 Ilman suodatus

Kiinteistöön tulevan ilman puhdistamiseksi ja kennon likaantumisen estämiseksi, on kummassakin ilmakehässä karkeasuodatin ilman kulkusuunnassa ennen kennoa. Näiden karkeasuodattimien lisäksi ilmanvaihtokone on varustettu tuloilman hienosuodattimella, joka sijaitsee heti kennon jälkeen ennen tuloilman puhallinta. Koneen perusvarustukseen ei kuulu suodatinvahtia, vaan kiinteistön käyttäjän on omatoimisesti huolehdittava vuosittaisesta karkeasuodattimien puhdistamisesta ja hienosuodattimen vaihtamisesta.

3.5 Tuloilman jälkilämmitys

Tuloilman lämpötilan pitäisi vedontunteen estämiseksi olla lämpötilaltaan vähintään 15–17 °C riippuen asujien mieltymyksistä ja tuloilmaventtiilien sijoituksesta huoneissa (11). Ulkoilman ollessa kylmää, ei kennon poistoilmasta siirtämä energia riitä lämmittämään tuloilmaa riittävän lämpimäksi, vaan tarvitaan ilman jälkilämmitys. Tämän kyseisen ilmanvaihtokoneen jälkilämmitys oli hoidettu termostaatin ohjaamalla 900 W:n jälkilämmitysvastuksella ja termostaatin asetusarvo oli säädetty 17 °C:een. Vastuksen rinnalle on kytketty jälkilämmityksen toiminnan ilmaiseva merkkivalo, piiriin on lisäksi kytketty yllilämpösuoja, joka katkaisee jälkilämmityksen lämpötilan noustessa 95 °C. (7, s.8, s11.)

3.6 Talteenottokennon ohitus

Ulkoilman lämpötilan kohotessa kesäaikaan riittävän korkealle ohitetaan lämmön talteenottokenno avaamalla niin kutsuttu kesäpelti. Tällöin ulkoilma ei kier-

rä lämmönvaihtimen kautta, vaan menee suoraan tuloilmakanavaan. Tällä järjestelyllä pyritään pitämään tuloilman lämpötila siedettävänä ja estämään kiinteistön sisätilojen liiallinen lämpeneminen kesäaikaan. Kesäpellin toiminta on hoidettu termostaatin ohjaamalla kääntömoottorilla ja termostaatti oli asetettu 19 °C:een. Jos kennon ohitus on käytössä estetään jälkilämmityksen toiminta. (7, s.12.)

3.7 Säätimen rakenne ja toiminta

Koneen toimintaa ohjaa piirikortille asennettu PIC16C58B mikropiiri. Samalle piirikortille on sijoitettu myös releet puhallinmoottoreiden eri pyörimisnopeuksille sekä releet takkatoiminolle ja tulopuhaltimen pysäytykselle. Lisäksi piirikortilla on releet 1-nopeus käytölle, eri nopeusasetusten samanaikaisuusestolle ja lämmitysvastuksen ohjaukselle. (7, s.8).



KUVA 7. Ilto 440 Ilmanvaihtokoneen alkuperäinen piirikortti ja säästömuuntaja

Jälkilämmitysvastuksen toimintaa ohjaavan termostaatin lämpötila anturi on asennettu tuloilmapuhaltimen viereen. Kennon jäätymissuojan anturi sekä kesäpellin toimintaa ohjaavan termostaatin anturi on sijoitettu heti lämmön talteenottokennon alareunaan. Koneen oveen on asennettu kytkin, joka pysäyttää koneen toiminnan välittömästi jos ovi avataan, erillistä käyttökytkintä ei ole. (7, s.6.)

Käyttäjä voi muuttaa koneen toimintatilaa ohjauspaneelin kautta, joka kytketään piirikortille modulaarikaapelilla. Ohjauspaneelistä voidaan valita puhallinteho 1-5, ilmanvaihdon ajastettu tehostustoiminta eli täysteho (0,5 h–1,5 h) sekä takka-toiminto joka pysäyttää poistoilmapuhaltimen 10 minuutin ajaksi. (7, s.15.)

3.8 Huurtumisen esto

Talteenottokennon huurtuminen voi tapahtua ulkoilman jäähtyessä pakkaselle. Huurtumisessa kostea poistoilma alkaa jäätyä kennossa ja kenno huurtuu pikkuhiljaa tukkoon. Periaatteessa huurtumista voidaan estää joko lämmittämällä kennolle tulevaa ulkoilmaa yli huurtumislämpötilan tai lämmittämällä kennolle tulevaa poistoilmaa. Ulkoista lämmitystä käytettäessä kumpikin tapa huonontaa laitteen hyötysuhdetta, lisää laitteen monimutkaisuutta ja sitä kautta myös laitteen hintaa. Yksinkertainen huurtumisen esto voidaan toteuttaa ilman ulkoista lämmitystä muuttamalla ilmavirtoja lyhyeksi aikaa, tässäkin tapauksessa hyötysuhteen kustannuksella. Etuna saavutetaan se, että koneen rakenteeseen ei tarvitse tehdä muutoksia. Tätä tapaa käytetään yleisesti vanhemmissa ja edullisimmissa ilmanvaihtokoneissa.

ILTO 440 kennon huurtumisen esto on toteutettu 2-vaiheisesti: mikäli kennossa lämmitetyn ulkoilman lämpötila laskee riittävän alas, pudotetaan tuloilmapuhallin 1-nopeudelle kunnes huurtumislämpötila ylittyy. Jos vielä puolen tunnin kuluttua termostaatti ei ole kytkeytynyt normaalikäytölle, pysäytetään tulopuhallin hetkeksi kunnes poistoilma on lämmittänyt kennoa yli huurtumislämpötilan. Huurtumislämpötilaksi on koneen valmistaja asettanut +4 °C. (7, s16.)

4 KONEESEEN TEHDYT MUUTOKSET

Koneen alkuperäisen toiminnan tarkastaminen vaati mittalaitteiden asennuksen koneeseen. Toiminnan tarkistamisen jälkeen tehtiin varsinaiset koneen rakenteeseen ja toimintaan vaikuttaneet muutokset. Tavoite oli parantaa koneen energiatehokkuutta ja lisäksi automatisoida koneen toimintaa paremman käyttömukavuuden saavuttamiseksi. Suurimittaisia koneen rakenteen muutoksia ei voitu tehdä tiukan aikataulun ja koneen hankalan sijainnin takia. Komponenttivalinnoissa yritettiin käyttää jo olemassa olevia osia ja uusia osia hankittaessa pyrittiin toimimaan mahdollisimman kustannustehokkaasti.

4.1 Puhaltimien nopeudensäätö

Nykyaikaisemmat ilmanvaihtokoneet on usein varustettu EC puhaltimilla, joiden nopeutta voidaan säätää portaattomasti ja joiden energiatehokkuus on AC moottorilla toimivia puhaltimia parempi. EC moottorin arvioidaan olevan 30 % vastaavaa AC moottoria tehokkaampi, eli samaa lähtötehoa käytettäessä EC moottori käyttää vähemmän virtaa (12). Moottorityypin vaihtoon ei kuitenkaan ryhdytty EC puhaltimien korkean hankintakustannuksen takia, vaan päätettiin toteuttaa nopeuden säätö kummallekin puhaltimelle erikseen Electromen Oy:n valmistamalla EM-162 tehosäätimillä (13).

EM-162 on triac-vaihekulmasäädin, joka soveltuu sekä resistiivisille että induktiivisille kuormille. Laitteen ohjauspuoli on galvaanisesti erotettu tehupuolesta, jolloin laite on helppo kytkeä automaattiosysteemin osaksi. Laitteen tehupuoli on suojattu omalla sulakkeellaan, ohjauspuoli on suojattu ylijännitteeltä ja väränapaiselta kytkennältä. EM-162 soveltuu käytettäväksi 10–200 W moottoritehoille. (13.)

4.2 Lämmön takaisinottokennon hyötysuhteen mittaus

Lämmön takaisinottokennon hyötysuhteen laskemiseksi ilmanvaihtokoneen ilmakeinaviin asennettiin lämpötila-anturit mittaamaan tuloilman, poistoilman ja jäteilman lämpötiloja. Antureina käytettiin Produal Oy:n valmistamia TEKHA NTC 10 kanava lämpötila-antureita, jotka asennettiin ilmanvaihtokoneen yläpuo-

lelta lähteviin kanaviin noin 0,5 m:n päähän koneen yläpinnasta. (15). Kanavien lämpötilamittauksien lisäksi asennettiin Pro dual TEU NTC 10 ulkolämpötila-anturi rakennuksen ulkoseinään pohjoisen puolelle (14).

Näiden neljän lämpötilamittaustiedon perusteella lasketut hyötysuhteet olivat kuitenkin liian paljon odotettuja tuloksia parempia. Tuloilman lämpötilan sijaan laskuihin otettiin lämmenneen ulkoilman lämpötila heti kennon jälkeen, jolloin tuloilmapuhaltimen hukatehon lämmittävä vaikutus jäi pois. Muutoksen jälkeen saadut hyötysuhdelukemat vastasivat paremmin todellista tilannetta.

4.3 Suodatinvahti

Koneen perusvarustukseen ei kuulu suodatinvahtia. Suodattimen vaihto oli aikaisemmin hoidettu satunnaisesti, pelkästään koneen käyttöajan ohjaamana, ja usein suodatinvaihto oli unohdettu tehdä. Koneen toimintaa päätettiin parantaa lisäämällä painemittaus lämmön talteenottokennon yli, jolloin saadaan havaittua poistoilmasuodattimen tukkeutumisen aiheuttama paineen nousu. Tämä tieto ei vielä kerro ulkoilmasuodattimen tai hienosuodattimen tukkeutumisesta, vaan se vaatisi vielä toisen painemittauksen edellä mainittujen suodattimien yli. Tämä mittaus päätettiin jättää toteuttamatta suhteellisen arvokkaiden painemittauslähettimien rajallisen määrän takia.

Painemittauslähettimenä käytettiin Pro dual Oy:n valmistamaa PEL 2500 paine-erolähetintä (16). Paineletkujen läpivienneille porattiin reiät ilmanvaihtokoneen runkoon ja letkujen päät jätettiin vapaasti roikkumaan kammioihin.

4.4 Jälkilämmitys

Tuloilman jälkilämmityksen havaittiin toimivan tyydyttävällä tavalla, ainoastaan viileinä kesäöinä tapahtuva jälkilämmitys koettiin turhaksi. Lämmityksen ohjaus päätettiin toteuttaa siten, että jälkilämmitys toimii tuloilman lämpötilan ohjaamana vain ulkolämpötilan ollessa alle 10 °C ja tuloilman lämpötilarajaksi asetettiin 16 °C.

4.5 Kesäpelti

Kesäpellin ohjaus päätettiin toteuttaa siten, että kennon ohitus otetaan käyttöön kesäöisin poistoilman ollessa yli 23 °C ja silloin kun lämpötila laskee poistoilmaa kylmemmäksi. Tämän lisäksi kenno ohitetaan kesäpäivisin, kun sisätilan lämpötila on yli 23 °C ja ulkolämpötila yli 19 °C, mutta alle sisälämpötilan. Tämä mahdollistaa yötuuletuksen toteuttamisen kesäöinä tarkoituksena jäähdyttää kiinteistön sisätilaa viileällä ulkoilmalla sekä hidastaa kiinteistön sisätilan lämpenemistä kuumina kesäpäivinä. Kesäyö- ehdon sisällyttäminen kennon ohituksen ohjaukseen jouduttiin lisäämään, koska pelkän ulko- ja poistolämpötilatiedon perusteella kennon ohitus olisi tapahtunut aina saunottaessa. Toinen mahdollisuus olisi lisätä järjestelmään erillinen huonelämpötila anturi, jonka lämpötilatietoa käytettäisiin poistoilman lämpötilan sijaan.

Koneen kesäpelti oli ollut aina epäkunnossa ja kiinteistön laitteistosta vastannut henkilö olikin manuaalisesti kääntänyt pellin kesäasentoon keväällä ja vastavasti talviasentoon syksyllä – mikäli oli muistanut. Kesäpellin toimimattomuuden syyksi paljastui kääntömoottorin ja pellin välisen vivuston rikkoontuminen, eikä sitä ehditty työn puitteissa korjaamaan. Näin ollen pellin toimintaa ei saatu testattua käytännössä eikä lämpötilarajoja hienosäädettyä.

4.6 Huurtumisen esto

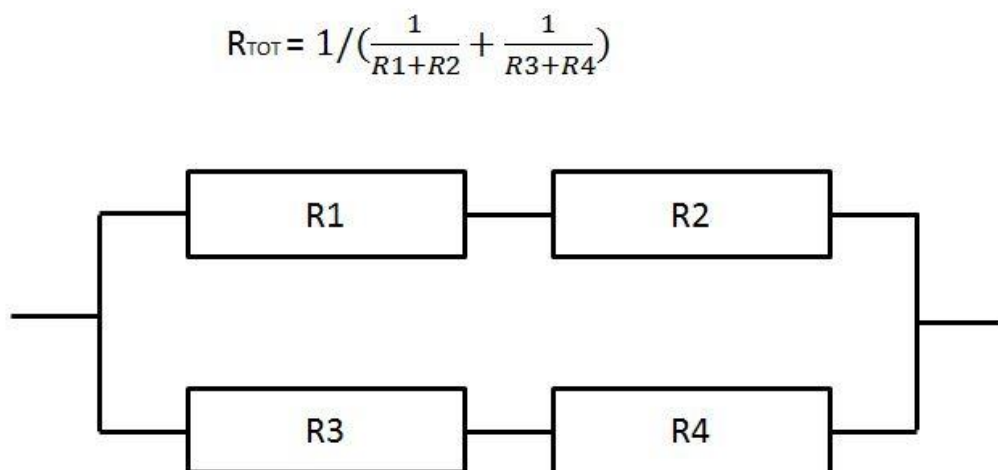
Koneen huurtumisen eston toimintaa mitattiin ja havaittiin sen toimivan valmistajan suunnitteleamalla tavalla. Koska puhaltimien ohjaus oli joka tapauksessa päätetty toteuttaa tehosäätimillä siirrettiin huurtumisen esto automaatiojärjestelmän hoidettavaksi ja sulatustarpeen ilmaisemiseen käytettiin kennon yli olevaa paine-eroa sekä kennon jälkeistä lämmentyneen ulkoilman lämpötilaa.

Jäteilman lämpötilan ollessa alle 0 °C ja paine-eron kasvaessa yli indikointirajan, aloitetaan kennon sulatusjakso. Sulatuksen aikana tuloilmapuhallin pysäytetään ja poistoilmapuhallin pyörii pienellä kierousnopeudella, kunnes mitattu paine-ero vastaa sulan kennon paine-eroa. Sulatusjakson päätteeksi käytetään poistoilmapuhallinta hetki suurella nopeudella, tämän tarkoituksena on puhaltaa pois kennoon jääneet vesipisarot.

Toinen vaihtoehto olisi ollut käyttää huurtumisen ilmaisuun valokenno-tyyppistä ratkaisua jota koneen valmistajakin myy ilmanvaihtokoneen lisävarusteena. Kennon huurtuessa katkeaa yhteys valokennon lähettimeltä vastaanottimelle ja tällöin voidaan havaita kennon huurtuneen.

4.7 Tuloilman lämpötilan mittaus

Alkuperäinen jäätymissuojan anturi oli sijoitettu kennon alareunaan, samaan paikkaan asennettu yksittäinen 10 kΩ NTC lämpötila-anturi antoi kuitenkin epä-määräisiä lämpötila-arvoja. Kennon jälkeisen lämpötilamittauksen anturointi päätettiin toteuttaa soveltamalla Wheatstonen siltakytkentää kytkemällä 4 kappaletta 10 kΩ NTC vastusta siltaan, jossa kaksi sarjaan kytkettyä NTC vastusta kytketään rinnan samanlaisen kahden sarjaan kytketyn NTC vastuksen kanssa. Muutoksen jälkeen saadut mittaustulokset olivat järkevämpiä. Oletettavasti kennolta tuleva ilma ei ole kunnolla sekoittunut, vaan ilmassa on kylmempiä ja lämpimämpiä kohtia, jolloin mittaasanturin sijoituspaikalla on suuri merkitys. Vastusten siltakytkentä on esitetty kuvassa 5.



KUVA 8. Keskiarvoistava vastuskytkentä

Siltakytkennällä saadaan keskiarvo kaikkien mittausvastusten arvosta, lisäksi vastukset voidaan sijoittaa eri puolille mittaustilaa, joka osaltaan myös keskiar-

voistaa mittaustulosta. Vaihtoehtoinen tapa olisi ollut mitata erikseen neljän vastuksen vastusarvo ja keskiarvoistaa lukema ohjelmallisesti, mutta tämä tapa olisi varannut vastusten lukumäärää vastaavan määrän mittakortin muunnin kanavia, joka ei olisi ollut tässä tapauksessa järkevää. Vastusten sijoittelu on esitetty kuvassa 9, vasemmalla puolella yhden anturin sijoitus ja oikealla puolella keskiarvoistavan anturikytkennän sijoitus tuloilmakammioon. Kuvassa näkyy myös alkuperäisten jäätymissuojan anturin ja kesäpellin anturin sijoituspaikka.



KUVA 9. Lämpötilan mittausanturin sijoitus lämmön talteenottokennon jälkeen

4.8 Ilmavirtojen mittaus

Koneen läpi virtaavien ilmamäärien selville saamiseksi mitattiin tulo- ja poistoilmakanavien ilmavirrat erillisellä virtausmittarilla ja käyttämällä Pitot putkea. Mittaus oli käytännössä hankala ja virheellisen mittauksen mahdollisuus oli suuri. Kone päätettiin varustaa sisäisellä ilmavirran mittausmahdollisuudella, joka to-

teutettiin asentamalla Fläktwoods Oy:n varmistamat mittarenkaat MR-160 tulo- ja poistoilmakanavaan. Mittarenkaan paine-eron mittaamiseen käytettiin Product Oyn valmistamalla PEL 2500 mittalähettimellä, joka asetettiin 0–100 Pa mitausalueelle (16). Mittarenkaan rakenne selviää kuvasta 10.



KUVA 10. Ilmamäärien mittaukseen käytetty MR-160 mittarengas

Kanavaan asennettu mittarengas aiheuttaa ilman virtausmäärään verrannollisen paine-eron, jota vastaava ilmamäärä saadaan laskettua tai lukemalla mittarenkaan valmistajan taulukoista (17).

Mittarengas itsessään ei aiheuta yhtä suurta virtaushäviötä kuin mittaus kuristuslaipan yli ja näin ollen se ei välillisesti lisää koneen energiantarvetta puhaltimien ja kanavien virtausmäärien pysyessä samana. Mittarengas oli helppo asentaa kanavistoon ja laitteen valmistajan taulukoista löytyi korjauskertoimet asennettaessa mittarengas lähelle häiriölähteitä, esimerkiksi kanavan T-haaran läheisyyteen. (17.)

4.9 Toimintojen lisäykset

Ilmanvaihtokoneen toiminnan ohjaaminen automaatiojärjestelmästä mahdollisti koneen toiminnan automaattisen muuttamisen ympäristöolosuhteiden mukaan.

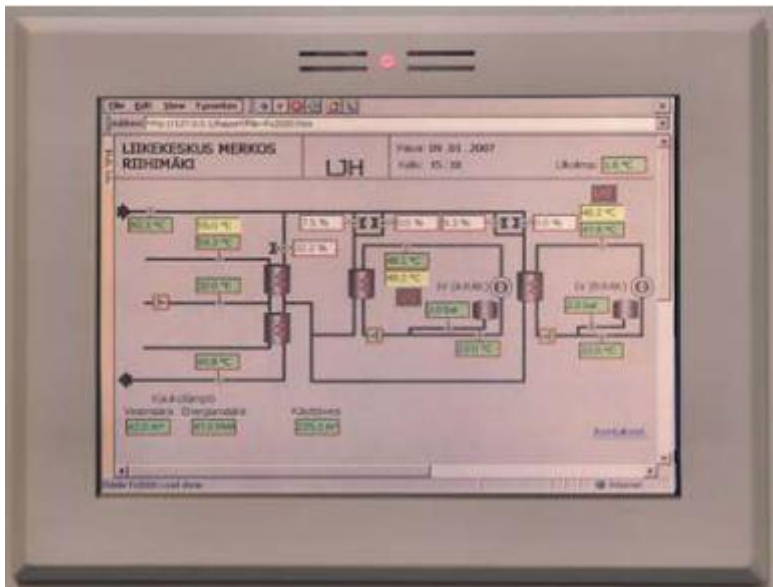
Energiatehokkuutta parannettiin muutamalla toimintaa siten, että ulkolämpötilan jäähtyessä alle -10 °C, alkoi järjestelmä pienentää ilman virtausmääriä ja samalla vähentää ilmanvaihdon kautta hukattua energiaa. Vastaavasti ilman virtausmäärää pienennetään tilanteessa, jossa asukkaita ei ole kotona tai asunnossa on vain yksi henkilö. Säästetyn energian määrää ei mitattu, mutta jos oletetaan ilmakehän kosteuden ja lämmöntalteenottokennon hyötysuhteen pysyvän samana eri virtausmäärillä, niin virtausmäärän puolittaminen puolittaa myös ilmanvaihdon kautta hukattavaa lämpöenergiaa. Tämän lisäksi puhallintehonkulutus pienenee, joka osaltaan pienentää kokonaistehonkulutusta.

Koneen toiminnan automaattisuutta lisättiin tekemällä ohjelmallinen tehostus. Virtausmäärää nostetaan haluttaessa laskea kiinteistön sisälämpötilaa yötuuletuksen avulla tai jos halutaan poistaa saunomisen aiheuttamaa ylimääräistä kosteutta.

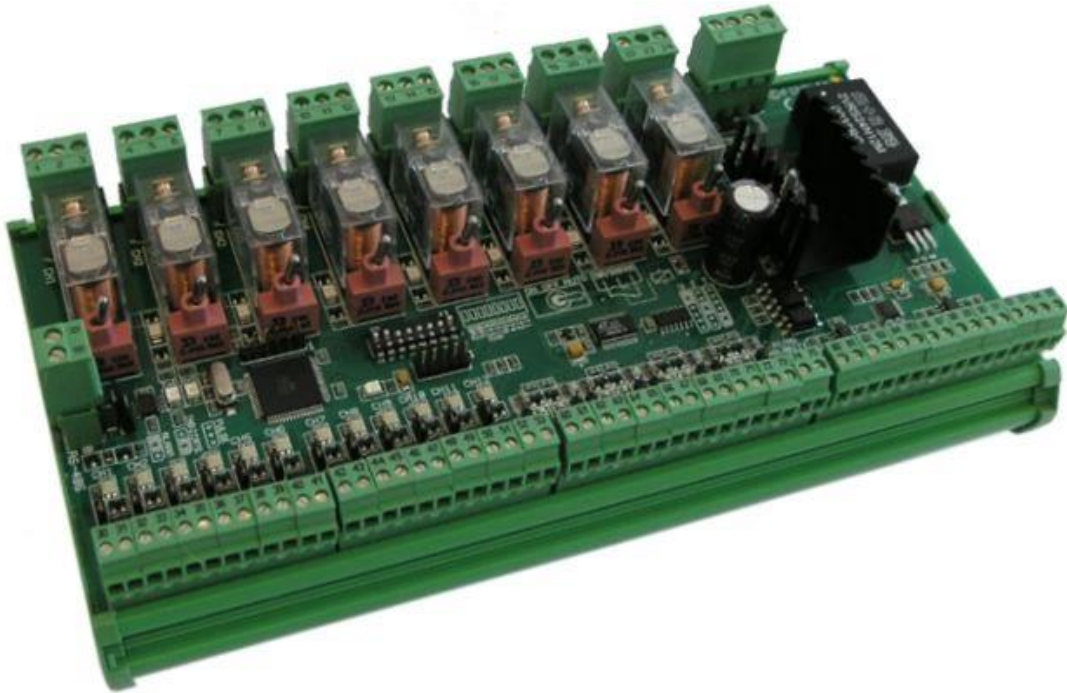
5 MITTAUSTULOKSET JA TULOSTEN ARVIOINTI

Mittauslaitteistona käytettiin Fidelix OYn valmistamaa FX2025 alakeskusta, joka on vapaasti ohjelmoitavissa oleva Windows CE käyttöjärjestelmällä toimiva teollisuus PC. Laitteessa on 10,4” kosketusnäyttö, sisäänrakennettu Web-palvelin ja ethernet liityntä. Käyttöliittymä on selainpohjainen ja dynaamiset grafiikkakuvat tehdään FdxHtmlEdit ohjelmalla. (18.)

Varsinaiset mittaukset tehtiin alakeskukseen liitettävällä Fidelix Combi-36 yhdistelmä moduulilla. Moduulissa on 12 digitaalista sisääntuloa, 8 analogista sisääntuloa, 8 digitaalista releillä toteutettua potentiaalivapaata ulostuloa sekä 8 analogista ulostuloa (19). FX2025 on kuvassa 11 ja Combi-36 kuvassa 12.



KUVA 11. Fidelix FX2025 alakeskus (18)



KUVA 12. Fidelix Combi-36 yhdistelmämoduuli (19)

Ilmanvaihtokoneeseen asennetut lämpötila-anturit ja painemittauslähettimet kytkettiin moduulin analogisiin sisään-tuloihin. Kesäpellin kääntömoottori ja jälkilämmitysvastus kytkettiin relelähtöihin ja puhaltimien tehosäätimet 0–10 V analogialähtöihin. Moduuli ja puhaltimien tehosäätimet sijoitettiin ilmanvaihtokoneen alkuperäisen ohjainkortin tilalle koneen sisälle (kuva 13), alakeskus ja painelähtimet asennettiin ilmanvaihtokoneen viereiseen seinään.

Alakeskus liitettiin kiinteistön sisäiseen tietoverkkoon ja reitittimen porttiasetuksista sallittiin alakeskuksen tiedonsiirto internet verkkoon, jolloin ilmanvaihtokoneen tilaa ja mitattuja tietoja päästiin seuraamaan ja asetuksia muuttamaan alakeskuksen kosketusnäytön lisäksi myös etänä.



KUVA 13. Ilmanvaihtokoneen alkuperäisen ohjainkortin paikka

5.1 Puhaltimien tehonkulutus

Ennen tehonsäätimien asennusta mitattiin ilmanvaihtokoneen sähkönkulutus eri nopeuksilla ja niitä vastaavat ilmamäärät. Sähkönkulutuksen mittaamiseen oli käytössä edullinen pistorasiaan kytkettävä energiamittari ja ilmamäärät saatiin kanaviin asennettujen MR-160 mittarenkaan paine-erosta. Mittaus uusittiin tehonsäätimien asennuksen jälkeen ja puhaltimien nopeudet säädettiin siten, että ilman virtausmäärät saatiin samoiksi kuin edellisessä mittauksessa.

TAULUKKO 2. Eri puhallinnopeuksia vastaavat ilmavirrat ja puhaltimien tehonkulutus

Valittu puhallinnopeus	Ilmavirrat tulo / poisto [l/s]	Tehonsäätimen ohjausarvo [%]	Mitattu yhteishonkulutus alkuperäisille puhaltimille [W]	Mitattu yhteishonkulutus tehosäädintä käytettäessä [W]
1	18 / 25	5	44	60
2	40 / 47	22	98	126
3	62 / 72	40	167	199
4	78 / 90	70 tulo / 60 poisto	233	255
5	88 / 103 (82 / 98) tehosäädintä käytettäessä	100	298	280

Mittaustuloksista havaittiin ilmanvaihtokoneen sähkökulutuksen kasvaneen pahimmillaan 35 %, suurin lisäys pienillä puhallintehoilla. Mitoitusilmavirralla 72 l/s laskettu ominaissähköteho (SFP) oli 2,76 kW/m³/s, joka on enemmän kuin alkuperäisellä muuntajakytkennällä saavutettu 2,32 kW/m³/s ja ylittää vanhan vaatimuksen 2.5 kW/m³/s.

Sähkökulutuksen lisäys selittyy tehonsäätimen omalla hukateholla, toisaalta epäillä voi myös käytetyn energiamittarin luotettavuutta tehonsäätimen ollessa kuormana. Normaali ilmavirralla mitattu sähkökulutuksen lisäys, 32 W, aiheuttaa 0,1 €/kWh:n hinnalla laskettaessa noin 28 € kasvaneen sähkölaskun vuodessa. Todellisuudessa osa tehonsäätimien aiheuttamasta hukatehosta siirtyy

tuloilmaan ja sitä kautta pienentää hitusen kiinteistön lämmitystarvetta, mutta tämä voidaan jättää käytännössä huomioita.

Tehonsäädintä ohjattaessa 100 %:n säätöohjeella jäätii ilman virtausmäärissä alle muuntajakytketyn täystehoa vastaavien virtausmäärien, myös laitteen sähkötehonkulutus jäi alle muuntajakytketyn. Oletettavasti tehonsäätimessä ei ole täyden tehon ohituskytkentää, eikä tehonsäätimen puhaltimelle ohjaama jännite vastaa täysin syöttöjännitettä. Tästä ominaisuudesta ei sinänsä ole mitään haittaa, koska 100 % ohjauksella saavutetut ilmamäärät ovat täysin riittävät ja ilmanvaihtokonetta käytetään täydellä teholla harvoin, käytännössä vain tehostilanteessa. Ominaisuuden tarkempi analysointi olisi vaatinut huomattavasti parempia mittalaitteita, joita ei kuitenkaan ollut käytettävissä.

Energiakulutuksen kannalta sähkönkulutuksen lisäys ei ollut haluttua, mutta ilman virtausnopeuden portaaton säätö mahdollisti ilmanvaihtokoneen muun säädön paremman optimoinnin.

Kalliimpien EC moottoroitujen puhaltimien hankinta ja niillä saavutettu sähköenergian säästö ei olisi maksanut itseään takaisin järkevän ajanjakson aikana, joten parempaa vaihtoehtoa käytetyille tehonsäätimille ei löydetty. Alkuperäisten puhaltimien käyttöä puolsi myös se, että puhaltimien vaihdon vaatimalta ilmanvaihtokoneen mekaaniselta muuttamiselta vältyttiin. EC moottorilla varustettujen puhaltimien hinnat tulevat todennäköisesti kuitenkin laskemaan, joten vanhojen puhaltimien korvaaminen energiatehokkaammilla malleilla voi tulla hyvinkin järkeväksi ratkaisuksi.

5.2 Lämmön talteenottokennon hyötysuhde

Tulo- ja poistoilmahyötysuhteet laskettiin ohjelmallisesti tulo- ja poistoilman, ulkoilman sekä jäteilman lämpötiloista. Lasketut hyötysuhteet vaihtelivat puhallinnopeuksista riippuen tuloilmahyötysuhteen ollessa 54–64 % ja poistoilmahyötysuhteen ollessa 42–48 %.

Ilmanvaihtokoneen valmistaja ilmoittaa lämpötilahyötysuhteeksi vastaavalle uudelle koneelle noin 60 %, jolla oletettavasti tarkoitetaan tuloilmahyötysuhdetta. Näin ollen koneen mitatut ja lasketut hyötysuhdelukemat vastaavat valmistajan

mittauksia sekä yleisesti tämäntyyppistä lämmön talteenottoa käyttävälle laitteelle ilmoitettavia arvoja.

Kappaleen 3.3 kaavoilla laskettu lämmönottolaitteen vuosihyötysuhde oli noin 34 %, joka ylitti vuoden 2003 säädösrajan (30 %), mutta jäi alle vuoden 2012 säädöksen (45 %).

Kaikki mittaukset tehtiin lämmöntalteenottoa ohituskanava tukittuna, koska mittauksissa huomattiin kesäpellin vuotavan ja huonontavan hyötysuhdetta 1-2 %.

Hyötysuhdetta voitaisiin parantaa vaihtamalla ristivirtauskenno vastavirtakennoon, mutta se vaatisi huomattavia mekaanisia muutoksia ilmanvaihtokoneen runkoon, eikä sitä katsottu järkeväksi toteuttaa.

5.3 Suodattimen ja kennon yli oleva painehäviö

Painehäviö mitattiin poistoilmakammion ja jäteilmakammion väliltä eri puhallinnopeuksilla käyttäen puhdasta suodatinta ja ulkolämpötilan ollessa lämpimän puolella. Huurtumisen indikointiraja asetettiin lisäämällä mitattuun paine-eroon 10-25 Pa:n marginaali. Huurtuminen ja suodattimen tukkeutuminen erotellaan ohjelmallisesti ja samaa painerajaa käytetään molempiin tilanteisiin. Huurtumista ei voi tapahtua jäteilman pysyessä nollan yläpuolella, vaan silloin paineen nousun syynä on suodattimen tukkeutuminen. Talviaikaan suodattimen tukkeutuminen havaitaan, mikäli kennon sulatustoiminto ei laske paine-eroa alle indikointirajan. Tukkeutuneesta suodattimesta saadaan hälytys alakeskukselta. Mitatut paine-erot ja huurtumisen indikointirajat on listattu taulukkoon 3.

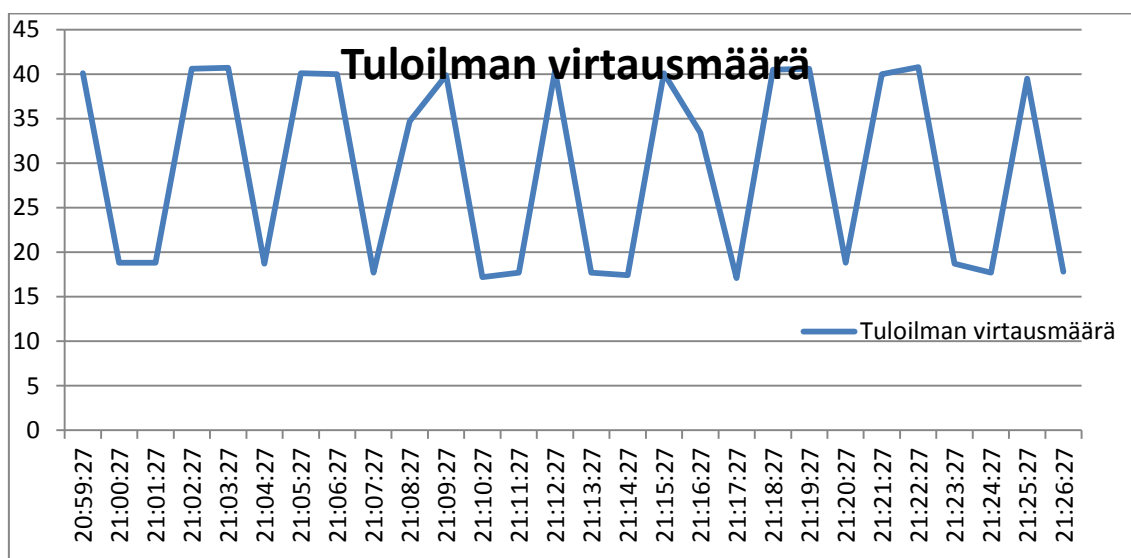
TAULUKKO 3. Kennon ja suodattimen yli oleva paine-ero ja huurtumisen / suodatintukoksen indikointirajat

Puhallin nopeus	Mitattu paine-ero [Pa]	Huurtumisen / suodatintukoksen indikointiraja [Pa]
1	15	25

2	31	40
3	51	65
4	66	85
5	75	100

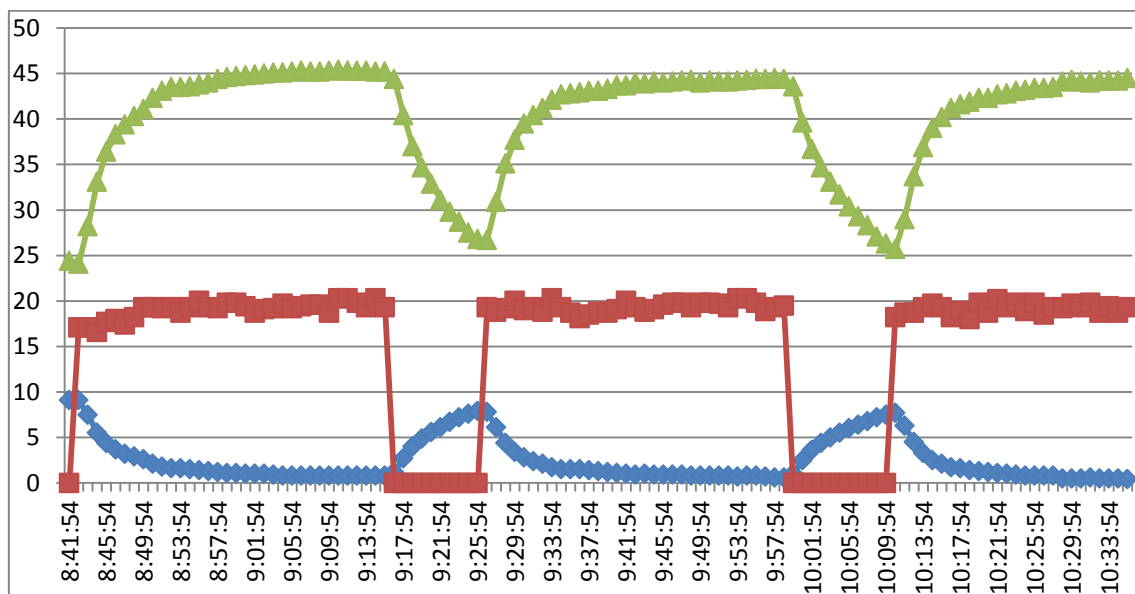
5.4 Huurtumisen esto

Laitteen alkuperäinen huurtumisen estotoiminta varmistettiin mittauksin, joita tehtiin talvella ulkoilman ollessa riittävän kylmä. Tuloilmapuhaltimen nopeudenpudotus ykkösteholle havaittiin tulokanavan virtausmäärästä, kuva 14.



KUVA 14 Tuloilman virtausmäärän vaihtelu, ulkolämpötila -16,6 °C

Ulkoilman vielä kylmetessä ja jäteilman lähestyessä nollaa alkoi ilmanvaihtokone pysäyttellä tuloilmapuhallinta. Tuloilmapuhaltimen ollessa pysähdyksissä puotaa poistoilmahyötysuhde, mutta samalla kennon lämpötila sekä jäteilman lämpötila nousevat, jolloin huurre kennon pinnasta poistuu. Hyötysuhteen ja lämpötilojen käyttäytyminen on esitetty kuvassa 15.



KUVA 15. Poistoilmahyötysuhde (vihreä), tuloilmamäärä (punainen) ja jäteilman lämpötila (sininen) ulkolämpötilan ollessa -20 °C

Mittaustuloksista havaitaan, että kennon jälkeinen lämpötila ei mene nollan alapuolelle, eikä huurtumista oikeasti ole vielä tapahtunut. Paine-eroon tai huurtumisen optiseen havainnointiin perustuva huurtumisen ilmaisu voi vähentää ilmanvaihtokoneen tekemiä sulatusjaksoja, joka parantaa kokonaishyötysuhdetta. Valitettavasti aikainen kevät ja yöpakkasten puute aiheutti sen, että paine-eroon perustuvaa huurteen poistoa ei päästy testaamaan käytännössä.

5.5 Ilmavirtojen määrät

Ilmavirtojen mittaus oli luonteeltaan informatiivinen ja mitatun tiedon perusteella voitiin helpommin tarkistaa asetettujen virtausmäärien pysyvyys esimerkiksi venttiilien puhdistuksen jälkeen tai tehdä ilmanvaihtokoneen toiminnan hienosäätö.

Tavoitteena on muuttaa tulo- ja poistokanavien virtaushäviöt keskenään samansuuruiseksi ja huolehtia kiinteistön alipaineistamisesta puhaltimia ohjaamalla siten, että poistoilmapuhallin pyörii suuremman nopeudella kuin tuloilmapuhallin. Tällä tavalla saadaan ylimääräiset virtaushäviöt minimoitua ja samalla parannetaan hieman puhaltimen energiatehokkuutta. Kiinteistön sisätilan ja ulkoilman välinen paine-ero mitataan ja pidetään säädetyssä rajassa myös liesi-

tuuletinta tai leivinuunia käytettäessä, jolloin ylimääräisen poistoilmavirran aikana ei sisätilaa alipaineisteta yli 30 Pa (4, s.14).

6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli parantaa kiinteistössä olevan vanhahkon ilmanvaihtokoneen energiatehokkuutta ja automatisoida toimintaa. Tämän tekemiseksi koneen toiminta selvitettiin ja valittiin toimintoja, joihin parannuksia haluttiin. Muutokset toteutettiin, mutta valitettavasti kaikkia muutoksia ei ehditty testaamaan.

Laitteen ominaissähkötehon kulutus kasvoi tehonsäätimen asennuksen yhteydessä vuositasona noin 280 kWh ja energiatehokkaampi vaihtoehto olisikin ollut puhallinmoottoreiden vaihtaminen toisen tyyppiseksi. Jos arvioidaan EC-moottorin tehonkulutuksen olevan 30 % vastaavaa AC-moottoria pienempi, saataisiin vuosittaista puhaltimien aiheuttavaa tehonkulutusta pienennettyä alkupe-
räisestä normaali ilmanvaihtoa käytettäessä noin 440 kWh. Tämä on rahassa mitaten noin 44 €, joka tarkoittaa EC-moottorilla varustettujen puhaltimien (2 kpl = n. 500 €) takaisinmaksuajaksi reilu 11 vuotta.

Ilmanvaihtokoneen energiatehokkuuden paraneminen saatiin aikaan koneen automaattisella olosuhteisiin reagoivalla toiminnalla. Ilmamäärien pienentäminen kovilla pakkasilla ja talon ollessa tyhjiällä tuo säästöjä. Jos ilmamäärä voidaan pienentää puoleen arkipäivisin 8 tunnin ajaksi, saavutetaan vuositasona noin 11 % pienennys siirrettyjen ilmakehiolosuhteiden määrässä. Ilmakehiolosuhteiden lämmittämiseen vaadittava energia vaihtelee suuresti eri parametrien mukaan, eikä sitä lähdetä tässä laskemaan. Automaatiojärjestelmään on myöhemmin tarkoitus lisätä koko ilmanvaihtokoneen sähkötehon mittaus, josta säästön rahallista arvoa voidaan arvioida paremmin.

Ilmamäärän pienentäminen pienentää myös puhallinmoottoreiden tehonkulutusta. Puhallinnopeutta 3 käytettäessä, ilmanvaihtokoneen nykyinen puhaltimien vuosikulutus on noin 1743 kWh, vastaavasti 2-nopeudelle vuosikulutus on noin 1103 kWh ja 1- nopeudella 525 kWh. Jos arkipäivisin (noin 260 kpl vuodessa) käytetään pienintä puhallinnopeutta 8 tunnin ajan vuorokaudessa, saadaan vuosikulutukseksi noin 1454 kWh. Tämä tarkoittaa noin 290 kWh:n vähennystä ja rahallisesti noin 29 €:n säästöä vuositasona.

Lämmöntalteeottokennon hyötysuhdetta ei lähdetty parantamaan. Parantaminen olisi vaatinut uuden vastavirtakennon hankkimisen ja sen asennus huomattavia muutoksia ilmanvaihtokoneen rakenteeseen. Pieni parannus hyötysuhteeseen saatiin kennon ohituskanavan tukkimisella, mutta tätä ei voi pitää pysyvässä ratkaisuna, koska tukos on asennettava ja poistettava käsin.

Ilmanvaihtokoneen toimintaa ohjaava automaatiojärjestelmä hoitaa kiinteistön muitakin toimintoja, joten sen sähkönkulutuksen jakaminen ilmanvaihtokoneen ja muiden toimintojen välille ei ole yksiselitteistä. Joka tapauksessa voidaan olettaa sähkönkulutuksen lisääntyneen siirrettäessä koneen ohjaus automaatiojärjestelmän hoidettavaksi. Energiat ehokkaampi ratkaisu olisi käyttää nykyisen automaatiojärjestelmän sijaan esimerkiksi Arduino-pohjaista ohjelmoitavaa elektroniikka alustaa.

Rahallista säästöä ei juurikaan saavutettu, sitä vastoin vanhan ilmanvaihtokoneen toiminta saatiin muutettua nykyisiä ilmanvaihtokoneita vastaavaksi ja koneen toiminta automatisoitua. Lisäksi koneen toimintaa on helpompi valvoa mitaustietojen perusteella, koneen toiminnan seuraaminen ja tarvittaessa säätö onnistuu tarvittaessa etänä.

LÄHTEET

1. Motiva. Energian loppukäyttö. Saatavissa:
http://www.motiva.fi/taustatietoa/energian kaytto_suomessa/energian_loppukaytto. Haettu 4.6.2015
2. Rakentajat.fi. Energiakoulu omakotitalon rakentajille 1 Saatavissa:
<http://www.rakentaja.fi/indexfr.aspx?s=/kuluttaja/motiva/energiakoulu1.htm>.
Haettu 4.6.2015.
3. Työ- ja elinkeinoministeriö. Tutkimusraportti 26.2.2013.Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011. Saatavissa:
https://www.tem.fi/files/35856/Kotitalouksien_sahkonkaytto_2011_raportti.pdf. Haettu 4.6.2015
4. D3 (2012) 2011. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa:
http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Haettu 4.6.2015.
5. D2 (2003). 2002. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2003. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa:
<http://www.finlex.fi/data/normit/1921-D2s.pdf>. Haettu 4.6.2015
6. Lämpötalo.com. Ilmanvaihtokoneen toimintaperiaatekuva. Saatavissa:
<http://www.lampotalo.com/Tuotteet/Ilmanvaihtojaerjestelmae>. Haettu 4.6.2015
7. ClimateControl.ru.ILTO440 Asennus, käyttö- ja suunnitteluohje. Saatavissa:
<http://www.climate-control.ru/new/download.phtml?filename=files/files/102513.pdf&name=440%F4%E8%ED.pdf>. Haettu 4.6.2015

8. D2 (2012). 2011. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa:
http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf. Haettu 4.6.2015
9. Luukkanen, Timo 2009. Energy recovery ventilation for modern passive houses. Saatavissa:
http://www.asuntotieto.com/20000i_RAKENNUS_JA_REMONTTITieto/0_TV-talo%202009/seminaari%2028-3-09/Enervent_Luukkainen.pdf. Haettu 4.6.2015
10. Ympäristöministeriö 2002. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. Ympäristöministeriön moniste 122. Saatavilla:
http://www.laskentapalvelut.fi/maaraykset/YM_opas_122.pdf. Haettu 4.6.2015
11. Haminan energia Oy. Vinkit lämmityskauden alkuun. Saatavilla:
<http://www.haminanenergia.fi/fi/energiansaasto/lammitysjailmastoint/vinkitlammityskauden>. Haettu 4.6.2015
12. Ebm-papst Oy. Tietoisku emb-papstin yhteistyökumppaneille. Mitä erikoista on EC-puhaltimissa. Saatavilla:
http://www.ebmpapst.fi/fi/dat/media_manager/news/8/news-files/Tietoisku_Mita_erikoista_EC-puhaltimissa.pdf. Haettu 4.6.2015
13. Electromen Oy. EM-162 230VAC/1A tehonsäädin. Saatavissa:
<http://electromen.com/fi/tuotteet/item/power-controllers/230vac/EM-162>. Haettu 4.6.2015
14. Produal Oy. Kanavalämpötila-anturi TEKHA NTC 10. Saatavissa:
<http://www.produal.fi/folders/Files/Tekniset%20esitteet/TEKHANTC10a.pdf>. Haettu 4.6.2015
15. Produal Oy. Ulkolämpötila-anturi TEU NTC 10. Saatavissa:
<http://www.produal.fi/folders/Files/Tekniset%20esitteet/TEUNTC10a.pdf>. Haettu 4.6.2015

16. Produal Oy. Paine-erolähetin PEL 2500. Saatavissa:
http://www.produal.fi/folders/Files/Tekniset%20esitteet/PEL_fi.pdf. Haettu
4.6.2015
17. Fläktwoods Oy. Mittarengas MR. Saatavilla:
<http://www.flaktwoods.fi/01b69935-3ad5-4510-a039-5a82feedae31>. Haettu
4.6.2015
18. Fidelix Oy. FX-2025 Alakeskus. Saatavilla:
http://www.fidelix.fi/documents/tuki/FX2025_FI.pdf. Haettu 4.6.2015
19. Fidelix Oy. Combi-36 Sisä- /ulostulo yhdistelmämoduuli. Saatavilla:
http://www.fidelix.fi/documents/tuki/COMBI36_FI.pdf. Haettu 4.6.2015

